



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 44 40 397 C 1

61 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
B 22 C 25/00  
B 22 C 9/00  
B 22 C 23/00

21 Aktenzeichen: P 44 40 397.6-24  
22 Anmeldetag: 11. 11. 94  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 21. 9. 95

DE 44 40 397 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
EOS GmbH Electro Optical Systems, 82152 Planegg,  
DE

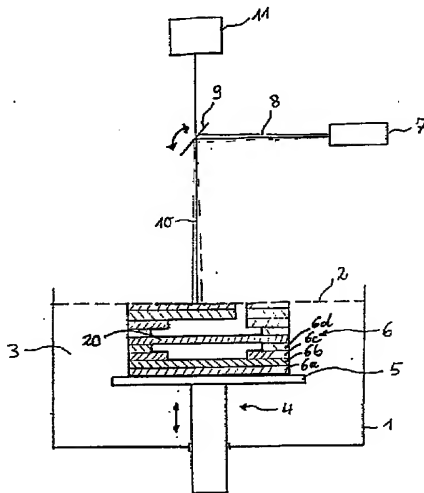
74 Vertreter:  
Prüfer und Kollegen, 81545 München

72 Erfinder:  
Langer, Hans, Dr., 82166 Gräfelfing, DE; Wilkening,  
Christian, 86911 Dießen, DE; Keller, Peter, 82152  
Martinsried, DE

66 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
DE 43 00 478 C1  
US 42 47 508

54 Verfahren zum Herstellen von Gußformen

57 Bei einem Verfahren zum Herstellen von Gußformen (6) aus einem wärmehärtenden Formstoff (3) wird die Gußform (6) und/oder ein Kern (20) ohne vorheriges Anfertigen von Modellteilen durch schichtweises selektives Verfestigen von Schichten aus Formstoff unter Einwirkung elektromagnetischer Strahlung erzeugt.



DE 44 40 397 C 1



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von Gußformen.

Ein bekanntes Verfahren zur Herstellung von Gußformen ist das Formmaskenverfahren nach Croning, beschrieben in Meyers Lexikon Technik und exakte Naturwissenschaften, Bd. 2, Bibliographisches Institut Ag, Mannheim 1970, Seite 1150 ff. Bei diesem Verfahren werden von Modellteilen Masken abgenommen und zur Gußform zusammengefügt, in die der Abguß erfolgt. Die aus Metall gefertigten und auf einer Metallplatte befestigten Modellteile werden dabei über die Platte auf 200°C bis 300°C vorgewärmt und das Formstoffgemisch bestehend aus Sand, Harz und Härter auf das Modellteil aufgebracht. Nachdem unter der Wärmeinwirkung der Modellplatte der Formstoff zu einer dünnen haftenden Schicht auf dem Modell zusammengepresst ist, wird der überschüssige Formstoff abgekippt und die verbliebene Schicht unter Wärmeinwirkung gehärtet und sodann die Maske abgenommen. Nach dem gleichen Prinzip werden die Kerne gefertigt. Die beiden Maskenhälften und die einzulegenden Kerne werden anschließend zu der Gußform zusammengefügt. Während des Gießvorganges verbrennt das Kunstharz und der Sand kann abschließend von dem Gußstück abgeklopft werden.

Ein weiteres bekanntes Sandgußverfahren ist das Kastenformverfahren, beschrieben in der oben genannten Referenz.

Die Formen für komplizierte Sandgußteile bestehen in der Regel aus zwei Maskenformen oder Formkästen mit einem oder mehreren eingelegten Kernen. Jeder dieser Bestandteile der Form muß so einfach aufgebaut sein, daß er nach seiner Herstellung aus seiner Kernform oder Masken-Modellplatte entnommen werden kann. Durch diesen Zwang zur Vereinfachung steigt die Anzahl der notwendigen Kerne. Für komplizierte Gußteile, wie beispielsweise Zylinderköpfe im Motorenbau, sind zwischen fünf und zwanzig Einzelkerne erforderlich, die entweder einzeln in die beiden Formkästen eingelegt werden oder vorher zu einem Kernpaket zusammengesetzt werden.

Das bekannte Verfahren weist die folgenden Nachteile auf:

1. Für jeden Kern muß eine mindestens zweiteilige Kernform hergestellt werden, was speziell im Prototypenstadium äußerst zeit- und arbeitsaufwendig ist. Für die Maskenformen wird eine beheizbare Modellplatte benötigt.
2. Jede Fügestelle zwischen den Kernen bzw. zwischen der Maskenform und dem Kern ist mit Toleranzen behaftet, so daß die Gesamtgenauigkeit des Aufbaus für präzise zu fertigende Gußteile nicht ausreicht.
3. Die konstruktive Ausführung der Fügestellen bzw. Kernlager zur Festlegung der Position jedes Kernes stellt einen zusätzlichen Aufwand dar.

Ein unter dem Namen Selektives Lasersintern bekanntes Verfahren ist aus der DE 43 00 478 C1 bekannt. Mit diesem Verfahren können dreidimensionale Objekte durch aufeinanderfolgendes Verfestigen einzelner Schichten des zu bildenden Objekts aus pulverförmigem verfestigbarem Material durch Einwirkung von Laserstrahlung an jeweils den dem Objekt entsprechenden Stellen jeder Schicht erzeugt werden. Die Erzeugung

von dreidimensionalen Objekten durch Lasersintern von Metall- oder Keramikpulver ist bekannt.

Aus der US 42 47 508 ist ein Formverfahren zum Bilden eines dreidimensionalen Objektes in Schichten durch selektives Aufschmelzen des zur Bildung des Objektes verwendeten Materials mittels eines Laserstrahles bekannt. Als Material ist unter anderem Sand oder mit thermoplastischem Kunststoff beschichteter Sand beschrieben. Bei dem beschriebenen Verfahren handelt es sich um einen typischen Sinterprozeß, bei dem es unter Temperatureinwirkung zum Aufschmelzen und Zusammenbacken der Partikel des verwendeten Materials kommt. Die dazu erforderliche Laserleistung ist dem Schmelzpunkt des Sandes entsprechend sehr hoch.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen von Gußformen aus wärmhärtenden Formstoffen anzugeben, bei dem eine beliebig komplizierte Gußform schnell und kostengünstig hergestellt werden kann.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren nach Patentanspruch 1. Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gegeben.

Das Verfahren hat den Vorteil, daß beliebig komplizierte Gußformen ohne vorherige Anfertigung von Modellteilen und ohne vorherige Anfertigung von Kernformen hergestellt werden können. Das Verfahren eignet sich besonders gut für Anwendungen, bei denen in kurzer Zeit kleine Stückzahlen von komplexen Bauteilen benötigt werden, wie beispielsweise im Prototypenbau der Motorenentwicklung. Der Kernformen- und Modellplattenbau mit Werkzeugkonstruktion, das Zusammensetzen der Kerne und der Arbeitsaufwand für das Aufteilen des Gesamtkerns in konventionell herstellbare Einzelkerne entfallen vollständig. Insgesamt ergibt sich eine erhebliche Zeitersparnis bei gleichzeitig erhöhter Genauigkeit der Gesamtform.

Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Figur.

Die Fig. 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Wie aus der Figur ersichtlich ist, weist eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens einen auf seiner Oberseite offenen Behälter 1 auf, der bis einem Niveau bzw. einer Oberfläche 2 mit einem Formstoff 3 gefüllt ist. In dem Behälter 1 befindet sich ein Träger 4 mit einer im wesentlichen ebenen und horizontalen Trägerplatte 5, die parallel zur Oberfläche 2 angeordnet ist und mittels einer nicht gezeigten Höheneinstellvorrichtung senkrecht zur Oberfläche 2 bzw. zur Trägerplatte 5 auf und ab verschoben und positioniert werden kann.

Auf der Trägerplatte 5 ist die zu bildende Gußform 6 angeordnet, wobei diese jeweils aus einer Mehrzahl von Schichten 6a, 6b, 6c, 6d, die sich jeweils parallel zur Oberfläche 2 und zur Trägerplatte 5 erstrecken, aufgebaut ist.

Über dem Behälter 1 ist eine nicht gezeigte Vorrichtung zum Glätten der Oberfläche 2 des Formstoffes 3 angeordnet.

Oberhalb des Behälters 1 ist eine Bestrahlungseinrichtung 7 in Form eines Infrarot-Lasers, angeordnet, die einen gerichteten Lichtstrahl 8 abgibt. Der gerichtete Laserstrahl 8 wird über eine Ablenkeinrichtung 9, beispielsweise einen Drehspiegel, als abgelenkter Strahl 10 auf die Oberfläche 2 des Formstoffes 3 in dem Behälter 1 abgelenkt. Eine Steuerung 11 steuert die Ablenkeinrichtung 9 derart, daß der abgelenkte Strahl 10 auf

jede gewünschte Stelle der Oberfläche 2 des Formstoffes 3 in dem Behälter 1 auftritt. Die Steuerung 11 ist mit einem Computer verbunden, der der Steuerung 11 die entsprechenden Daten zur Verfestigung der Schichten (6a, 6b, 6c, 6d) der Gußform 6 liefert.

Bei dem Verfahren zur Herstellung der Gußform 6 wird in einem ersten Schritt in dem Computer ein CAD-Modell eines zu fertigenden Gußteiles erzeugt. Auf die Konstruktion des Gußteiles wird dabei im CAD-Modell das Schwindmaß entsprechend dem zu verwendenden Gußwerkstoff aufgegeben. Gießtechnologisch erforderliche zusätzliche Geometrien werden in dem CAD-Modell des Gußteiles berücksichtigt, z. B. Einguß-, Steiger- und Anschnittsystem.

Anschließend werden aus den so erzeugten CAD-Modelldaten durch Invertieren im Computer die Daten der anzufertigenden Gußform 6 erzeugt. Diese durch Invertierung erhaltenen Daten stellen ein Negativ des gewünschten Gußteiles dar. Dabei werden die Hohlräume des späteren Gußteiles, die sogenannten Kerne, bei der Bildung des Negatives mit berücksichtigt und können dann bei der Herstellung der Gußform als integrierte Kerne zusammen mit der Formmaske hergestellt werden.

Im CAD-Modell der zu fertigenden Gußform werden zusätzlich zu den gießtechnologisch erforderlichen Öffnungen weitere Öffnungen im zu bildenden Objekt vorgesehen, um später das Entfernen bzw. Ausschütten des nicht verfestigten Materials zu erleichtern. Diese Öffnungen werden jeweils an den für das Entfernen des Materials am besten geeigneten Stellen vorgesehen.

Das CAD-Modell der anzufertigenden Gußform 6 wird sodann im Computer in Schichten zerlegt mit einer Dicke, die der Korngröße des verwendeten Formstoffes angepaßt werden. Üblicherweise wird eine Schichtdicke gewählt, die etwa dem Doppelten der mittleren Korngröße entspricht. Im nächsten Schritt wird das im Computer vorhandene Modell der anzufertigenden Gußform durch das Verfahren des selektiven Aushärtens einer Komponente des Formstoffes mittels Laserstrahlung als dreidimensionales Objekt erzeugt.

Bei dem Verfahren wird die Trägerplatte 5 zuerst in dem Behälter 1 so positioniert, daß zwischen der Oberseite der Trägerplatte 5 und der Oberfläche 2 des Formstoffes 3 in dem Behälter 1 ein gerade der vorgesehenen Schichtdicke entsprechender Abstand vorliegt. Die sich über der Trägerplatte 5 befindliche Schicht des Formstoffes 3 wird mittels des von der Bestrahlungseinrichtung 7 erzeugten und über die Ablenkvorrichtung 9 und die Steuereinrichtung 11 gesteuerten Laserstrahles 8, 10 an vorgegebenen, dem der Gußform 6 entsprechenden Stellen bestrahlt, wodurch der Formstoff 3 sintert und so eine der Gußform entsprechende feste Schicht 6a bildet. Das Bilden von weiteren Schichten 6b, 6c, 6d erfolgt sukzessive durch Absenken der Trägerplatte 5 um einen der jeweiligen Schichtdicke entsprechenden Betrag und erneutes Bestrahlen an den der Gußform 6 entsprechenden Stellen. Die Schichten haben eine Dicke von 0,1 mm bis 0,2 mm. Der nicht vom Laserstrahl getroffene Formsand einer jeweiligen Schicht wird nicht verfestigt und dient zum Stützen der darüberliegenden Schichten. Der nichtverfestigte Formsand ist anschließend wiederverwendbar.

Die fertige Gußform wird nach Abschluß des Bauprozesses aus dem umgebenden lockeren Sandbett entnommen. Der noch unverfestigte Formsand im Inneren der Form wird durch die Eingußöffnung und/oder durch die speziell zum Entfernen des nichtverfestigten Sandes

vorgesehenen Öffnungen in der Form 6 abgesaugt, herausgeschüttet oder herausgeblasen. Beim späteren Gießen fließt Gußwerkstoff in diese Öffnungen, der jedoch nach Erkalten abgeschnitten bzw. entfernt wird.

Die fertige Gußform kann zur Verbesserung der Oberflächengüte nachbearbeitet werden, beispielsweise durch thermisches Nachhärten.

Als Formstoff 3 wird ein warmhärtender Formstoff beispielsweise Formsand bestehend aus Quarzsand mit einem Überzug aus Phenolharz verwendet. Der bei dem Verfahren ablaufende Prozeß des Verfestigens des Formstoffes 3 beruht auf einem von der Laserstrahlung initiierten chemischen Abbindeprozeß in der Harzhülle auf dem Quarzkorn. Es handelt sich dabei um einen von dem bekannten Sintervorgang grundsätzlich unterschiedlichen Vorgang, der in einer thermisch induzierten irreversiblen chemischen Reaktion von Bestandteilen des Harzes besteht. Bei dem selektiven Aushärten des Formstoffes erfolgt die Verfestigung also nur durch Verfestigung des Harzes. Der Sand, der etwa 90 bis 95% des Formstoffes ausmachen kann, ist an der in dem Verfestigungsprozeß ablaufenden chemischen Reaktion überhaupt nicht beteiligt. Ein Vorteil gegenüber dem in der US 42 47 508 beschriebenen Aufschmelzen von Sand besteht darin, daß eine wesentlich geringere Laserleistung ausreicht und daß Probleme wie Materialschwind und Verzug beim Verfestigen praktisch nicht auftreten bzw. stark reduziert sind. Die in dem Harzmaterial ablaufenden Reaktionen werden durch den Laser nur initiiert und durch die thermische Nachbehandlung zu Ende gebracht, so daß eine völlige Aushärtung des Harzes die Folge ist. Beim späteren Gießen des Gußteiles verbrennt das Harz und der umverkehrt gebliebene Sand kann von dem Gußteil entfernt werden.

Wie aus der Figur ersichtlich ist, können Hohlräume 20 des späteren Gußteiles, die sogenannten Kerne der Gußform 6 bei dem Verfahren gleichzeitig mit der Gußform 6 selbst und integriert mit dieser erzeugt werden. Das herkömmliche Einlegen der Kerne in die Maskenform entfällt damit.

Das hat den Vorteil einer höheren Genauigkeit gegenüber dem bekannten Verfahren, bei dem beim Einsetzen bzw. Einlegen des Kerns oder der Mehrzahl von Kernen Formsand abgeschauert wird, was zu einer verschlechterten Maßgenauigkeit führt.

Da die Herstellung einer Mehrzahl von Einzelkernen für einen komplizierten Gesamtkern entfällt, kann eine beträchtliche Zeitersparnis bei der Herstellung von Prototypen erzielt werden. Beispielsweise benötigt die Herstellung einer Sandform für einen Prototypen eines Ölpumpengehäuses für einen PKW mittel Lasersintern etwa 30 Stunden, während bei dem bekannten Sandgußverfahren etwa vier Wochen für den Modellteilbau und den Kernbau veranschlagt werden müssen.

Modifikationen des Verfahrens sind denkbar. Beispielsweise können auch zweiteilige Sandformen hergestellt werden, die anschließend wie bei dem herkömmlichen Verfahren zusammengesetzt werden. Auch ist es möglich, komplizierte Kerne für bereits bestehende Maskenformen einteilig herzustellen, bei denen bisher nur die Zerlegung in mehrere Einzelkerne und anschließendes Zusammensetzen zu einem Kernpaket möglich war. Die Entfernung des noch unverfestigten Formsandes kann auch durch nachträglich in die Sandform gebohrte Öffnungen erfolgen.

Als Formstoff ist auch Zirkonsand, Olivinsand, Chromitsand, Schamotte, Korund oder Carbonsand, die jeweils entweder rein oder in beliebigen Verhältnissen mit



einem oder mehreren der anderen Stoffe gemischt verwendet werden können und die jeweils mit einem geeigneten Binder versetzt sind, denkbar. Der Binder ist üblicherweise ein warm- oder heißhärtender Harzbinder, der sowohl als Überzug für den Sand als auch in Form von selbständigen Partikeln, die mit dem Sand gemischt sind, verwendet werden kann. Beispiele für geeignete Harze sind neben dem Phenolharz, Furan-, Harnstoff- oder Aminoharze, Novolake oder Resole, Harnstoff-Formaldehydharze, Furfurylalkohol-Harnstoff-Formaldehydharze, Phenol-modifizierte Furanharze, Phenol-Formaldehydharze oder Furfurylalkohol-Phenol-Formaldehydharze, die jeweils flüssig, fest, granuliert oder pulverförmig vorliegen können. Auch die Verwendung von Epoxidharzen ist denkbar. Bisher sind Epoxidharze in der Gießerei auch im Einsatz, werden aber durch Amin-Begasung ausgehärtet. Bei der thermischen Aushärtung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hätten sie jedoch den Vorteil der sofortigen Aushärtung bis auf Endfestigkeit.

Ein Formstoff, bestehend aus einem metallischen Pulver, das mit einem der oben genannten Gießereiharze versetzt ist, ist ebenfalls zur Herstellung von Gußformen bzw. Modellen oder auch Dauerformen denkbar.

Da unterschiedliche Bindermaterialien jeweils auch ein unterschiedliches Absorptionsvermögen für elektromagnetische Strahlung aufweisen, ist es zweckmäßig bei der Nachbehandlung der Gußform ein selektives Nachverfestigen mit unterschiedlichen, dem Absorptionsvermögen des jeweiligen Bindermaterials angepaßten Wellenlängen durchzuführen. Beispielsweise kann die Nachhärtung der Gußformen durch Mikrowellenbestrahlung im Mikrowellenofen erfolgen. Es ist jedoch auch beispielsweise möglich, nacheinander oder gleichzeitig verschiedene Nachhärtungsverfahren anzuwenden, beispielsweise UV-Bestrahlung, Mikrowellenbestrahlung oder Erhitzen.

Als Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist jede zur Durchführung des Lasersinterns verwendbare Vorrichtung denkbar.

Insbesondere ist es nicht erforderlich einen Behälter zur Aufnahme des Formstoffes zu verwenden, der Formstoff kann auch schichtweise direkt auf den Träger aufgebracht werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Gußformen aus warmhärtendem Formstoff mit den Schritten:  
Erzeugen eines Computermodells der zu herzustellenden Gußform (6);  
Sukzessives Verfestigen einzelner übereinanderliegender Schichten (6a, 6b, 6c, 6d) eines warmhärtbaren Formstoffes (3) an jeweiligen der Gußform (6) entsprechenden Stellen mittels entsprechend dem Computermodell gesteuerter Einwirkung elektromagnetischer Strahlung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Formstoff (3) Formsand verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Formsand Quarzsand mit einem Überzug aus Phenolharz aufweist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gußform mit integriertem Kern (20) erzeugt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Gußform (6) ein-

teilig erzeugt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Gußform (6) mit einem Einguß erzeugt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß unverfestigter Formstoff (3) nach der Verfestigung über in der Gußform vorgesehene Öffnungen entfernt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kern getrennt erzeugt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein einteiliger Kern für eine Gußform (6) erzeugt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß als elektromagnetische Strahlung Laserstrahlung verwendet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß Strahlung eines Infrarot-Lasers (7) verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Gußform thermisch nachgehärtet wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Gußform durch Bestrahlung mit Mikrowellen nachgehärtet wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen beim Erzeugen des Computermodells der Gußform (6) erzeugt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Formsand Quarzsand, Zirkonsand, Olivinsand, Chromitsand, Schamotte, Korund- oder Carbonsand umfaßt, der jeweils mit einem geeigneten warm- oder heißhärtbarem Harzbinder versetzt ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der warm- oder heißhärtbare Harzbinder ein Harz aus der Gruppe der Furan-, Harnstoff- oder Aminoharze, Novolake oder Resole, Harnstoff-Formaldehyd-Harze, Furfurylalkohol-Harnstoff-Formaldehydharze, Phenol-modifizierten Furanharze, Phenol-Formaldehydharze oder Furfurylalkohol-Phenol-Formaldehydharze umfaßt, die jeweils in flüssiger, fester, granulierter oder pulverförmiger Form vorliegen können.

17. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß als Harzbinder ein Epoxidharz verwendet wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verfestigung des Formsandes ein vom Laser initiiertes chemischer Abbindeprozeß in dem Harz abläuft und der Sand chemisch nicht an der Reaktion beteiligt ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



- Leerseite -

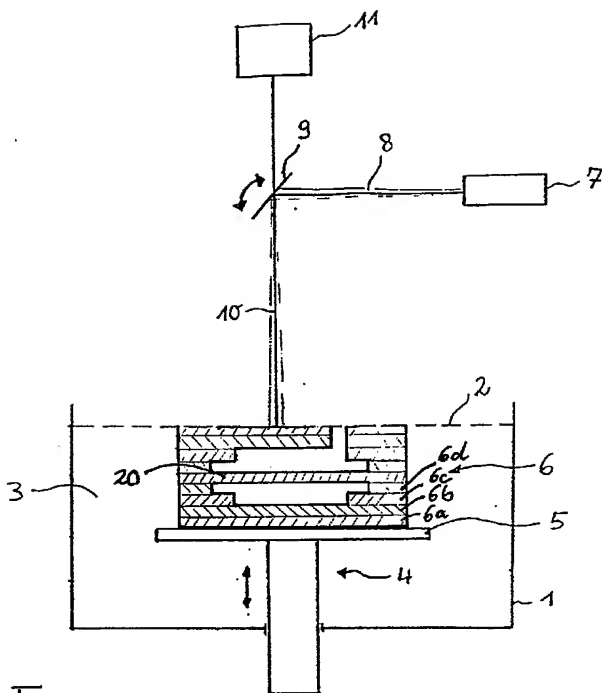


Fig. 1